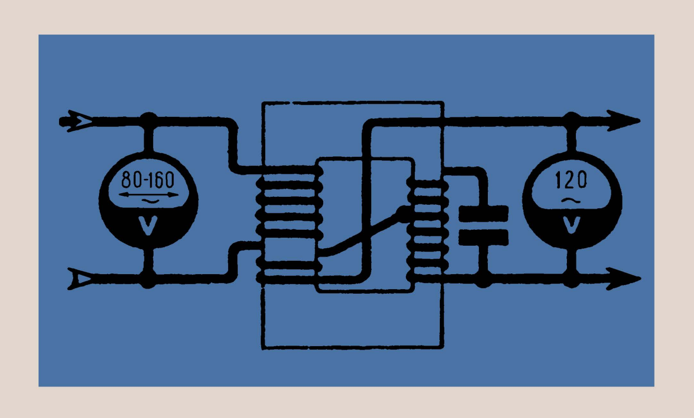


С. Я. ЛИВШИЦ

ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

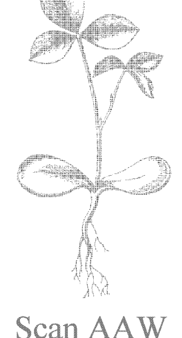
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 91

С. Я. ЛИВШИЦ

ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Рекомендовано Управлением технической подготовки Центрального комитета Всесоюзного совета добровольного общества содействия армии в качестве пособия для радиоклубов





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматриваются физические процессы, происходящие в стабилизаторах, описываются различные схемы стабилизаторов, даются подробные расчеты, иллюстрируемые примерами, и указываются методы изготовления и регулировки стабилизаторов.

Расчетная часть брошюры предназначена для подготовленных радиолюбителей. Однако в ней в виде примеров даются готовые данные, достаточные для изготовления стабилизаторов лицами, знакомыми лишь с основами электротехники.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *Р. Д. Мельниковская* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 31/VIII 1950 г. Подписано к печати 27/XI 1950 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{32} = ^3/_4$ бум. л. 2,46 п. л. 3 уч.-изд. л.
Т-09139 Тираж 20 000 экз. Зак. 256

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

Для хорошей работы радиоаппаратуры — радиоприемников, ламповых измерительных и других радиоприборов— необходимо постоянство напряжения питающей сети. Напряжение сетей электрического освещения почти везде принято 120 или 220 *в*. Вся применяемая аппаратура, питаемая от сети переменного тока, рассчитывается на напряжения 120 или 220 *в*.

Однако очень часто напряжение в сети сильно отличается от номинального. Так, при больших нагрузках (в часы пик), по вечерам и в зимнее время, напряжение в сети падает, а когда нагрузка уменьшается, днем и поздно ночью, напряжение в сети увеличивается. Особенно сильными такие скачки напряжения бывают в сельских районах, удаленных от электростанций, и в районах, питающихся от местных генераторов. В этих местах применение радиоаппаратуры часто бывает весьма затруднительным. При пониженном напряжении питающей сети измерительная аппаратура дает неправильные показания, чувствительность радиоприемников уменьшается и принимаются только наиболее близкие и мощные станции или прием становится невозможным.

Для того чтобы избежать неприятностей, связанных с понижением питающего напряжения, радиолюбители часто применяют различные повышающие трансформаторы. Но повышая таким образом напряжения, приходится все время считаться с опасностью выхода из строя радиоаппа-

ратуры, если напряжение в сети внезапно резко повысится. Повышенное напряжение питания может вызвать пробой электролитических конденсаторов, перегорание нитей накала ламп и, в лучшем случае, уменьшение срока службы аппаратуры.

Наиболее удобным прибором, обеспечивающим нормальную работу радиоаппаратуры, нужно считать такой, который автоматически поддерживал бы напряжение неизменным при любых, практически возможных, отклонениях напряжения питания от номинала. Таким прибором является феррорезонансный стабилизатор напряжения. Для изготовления феррорезонансного стабилизатора не требуется дефицитных материалов, конструкция его проста и не имеет трущихся деталей; прибор не боится перегрузок, имеет достаточно высокий к. п. д. и не требует ухода в процессе эксплоатации.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения может быть рассчитан на любую мощность и любое напряжение.

Точный расчет стабилизаторов затруднителен, однако ряд схем его можно рассчитать упрощенно, и после надлежащей регулировки стабилизатор будет работать точно и безотказно.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ

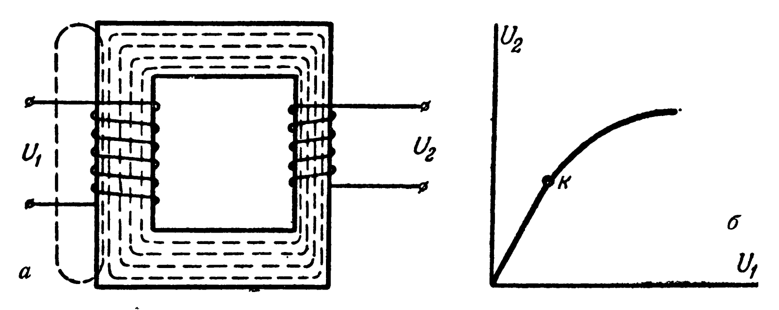
Основным регулирующим элементом феррорезонансного стабилизатора напряжения является трансформатор с насыщенным железом. Магнитопровод такого трансформатора представляет собой замкнутое стальное ярмо с различными сечениями сердечников.

На сердечнике с бóльшим сечением расположена первичная обмотка, на сердечнике с меньшим сечением — вторичная (фиг. 1,*а*).

Если на первичную обмотку трансформатора подать напряжение, то по ней потечет ток, который создаст в сердечнике трансформатора магнитный поток. Этот поток наведет электродвижущую силу во вторичной обмотке и, если вторичная обмотка замкнута на какую-либо нагрузку, то по нагрузке потечет ток. При увеличении напряжения, подводимого к первичной обмотке, возрастает и протекающий по ней ток, увеличивается магнитный поток в сердечнике, а следовательно, и электродвижущая сила, наведенная во вторичной обмотке.

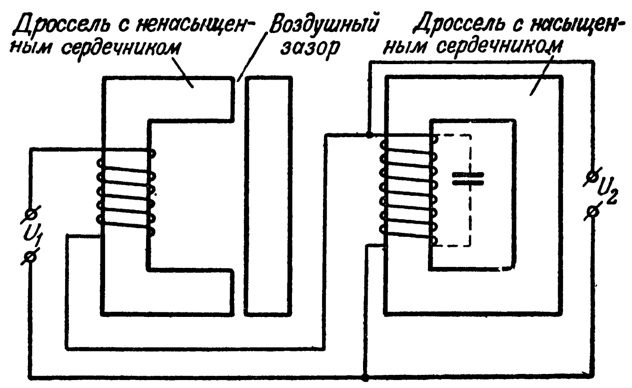
Отношение вторичного напряжения к первичному $\frac{U_2}{U_1}=K$ будет (K — коэффициент трансформации) сохраняться постоянным до тех пор, пока возрастающий в первичной обмотке ток не создаст в сердечнике меньшего сечения магнитный поток насыщения. Начиная с этого момента (фиг. 1,*б*, точка *к*), возрастание напряжения на первичной обмотке будет все слабее сказываться на величине напряжения вторичной обмотки. Это происходит потому, что магнитный поток, создаваемый в сердечнике первичной обмотки, уже не может полностью замкнуться через сердечник вторичной обмотки и часть его будет замыкаться через воздух (магнитный поток рассеяния).

Следовательно, если напряжение U_1, изменяясь в некоторых пределах, все же остается достаточным для создания в сердечнике меньшего сечения режима насыщения, то всем этим изменениям U_1 будут соответствовать значительно меньшие изменения напряжения во вторичной обмотке.



Фиг. 1. Схема трансформатора с насыщенным сердечником.

Иногда, для того чтобы уменьшить изменения U_2 по сравнению с изменениями U_1, применяют также последовательное соединение двух дросселей — с ненасыщенным и насыщенным сердечниками (фиг. 2).



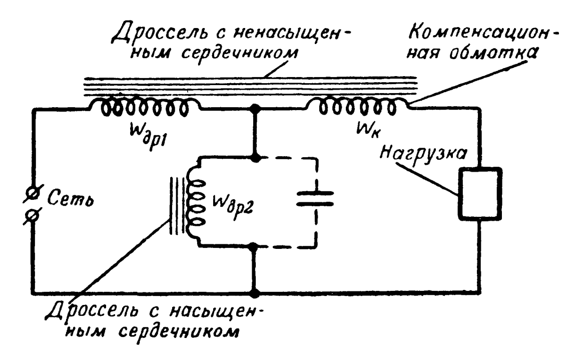
Фиг. 2. Последовательное соединение дросселей с ненасыщенным и насыщенным сердечниками

Обмотку первого дросселя наматывают на сердечнике, собранном с воздушным зазором. Так как сопротивление зазора магнитному потоку велико, то сердечник дросселя окажется ненасыщенным при любых значениях

подаваемого на него напряжения. Обмотка второго дросселя наматывается на такой сердечник, в котором насыщение возникает при очень малых значениях подаваемого на первичную обмотку напряжения.

Если в такой схеме напряжение сети U_1 повысится, то бо́льшая часть приращенного напряжения упадет на дросселе с ненасыщенным сердечником и напряжение на насыщенном дросселе изменится мало, следовательно, напряжение U_2 увеличится незначительно.

Однако и этот прирост выходного напряжения можно уменьшить. Для этого на каркас дросселя с ненасыщенным

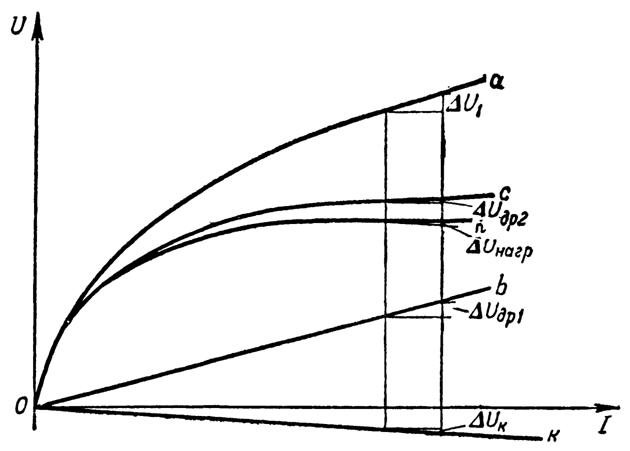


Фиг. 3. Схема включения компенсационной обмотки.

сердечником наматывают добавочную обмотку. Направление витков этой обмотки противоположно направлению витков основной обмотки, в результате чего их магнитные потоки также направлены в противоположные стороны. Затем добавочную обмотку присоединяют к обмотке дросселя с насыщенным сердечником, как показано на фиг. 3. При повышении напряжения сети ток, протекающий через добавочную обмотку, возрастет, увеличивая напряжение, индуктируемое этой обмоткой. Поскольку это напряжение противоположно по знаку напряжению в основной обмотке, то общее напряжение, подводимое к нагрузке, будет изменяться в еще меньших пределах, чем в схеме фиг. 2 при значительном изменении напряжения сети. Эту добавочную обмотку называют компенсационной.

Процесс стабилизации напряжения иллюстрируется графиком фиг. 4. На вход стабилизатора к зажимам U_1 (линия *оа*) подается напряжение питающей сети. Часть

этого напряжения падает на первичной обмотке дросселя $W_{др 1}$ (линия *ob*), а остальное подается на обмотку дросселя с насыщенным сердечником $W_{др 2}$ (линия *oc*) и создает в ней ток, достаточный для создания магнитного потока насыщения. Затем через компенсационную обмотку дросселя $W_к$ напряжение поступает на нагрузку. Падение напря-



Фиг. 4. График, поясняющий работу стабилизатора без емкости.

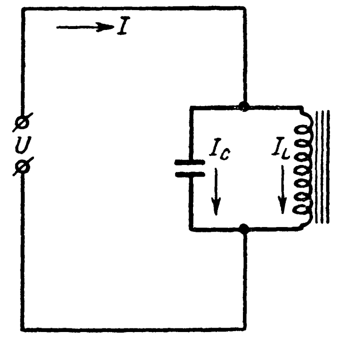
жения на компенсационной обмотке показано линией *ок*, а напряжение на нагрузке—линией *on*.

При повышении напряжения сети на величину ΔU_1 большая часть приращенного напряжения упадет на основной обмотке дросселя $W_{др 1}$ ($\Delta U_{др1}$), поэтому напряжение на обмотке $W_{др 2}$ возрастает на значительно меньшую величину ($\Delta U_{др 2}$), чем напряжение сетки. Этот небольшой прирост напряжения увеличит ток в компенсационной обмотке и, следовательно, увеличит в ней э. д. с. на величину $\Delta U_к$. А так как эта э. д. с. направлена в сторону, противоположную э. д. с. в первичной обмотке дросселя, то она будет уменьшать напряжение на выходе стабилизатора примерно на столько, на сколько увеличилось напряжение на вторичной обмотке автотрансформатора. Следовательно, выходное напряжение, подаваемое на нагрузку, изменится очень мало ($\Delta U_{нагр}$).

При уменьшении напряжения сети процесс стабилизации происходит аналогично, т. е. падение напряжения на основной обмотке дросселя $W_{\partial p\,1}$ уменьшится более значительно по сравнению с уменьшением напряжения в обмотке дросселя с насыщенным сердечником $W_{\partial p\,2}$. Э. д. с., создаваемая в компенсационной обмотке, также уменьшится, и напряжение на выходе стабилизатора останется почти неизменным.

Недостатками обеих рассмотренных схем являются получающиеся в них большие потери и малый коэффициент мощности $\cos\varphi$. Так как индуктивное сопротивление этих схем очень велико, то активная мощность получается малой по сравнению с реактивной.

Гораздо лучше в этом отношении схема, у которой параллельно вторичной обмотке дросселя с насыщенным сердечником включен конденсатор, образующий с ней резонансный контур, настроенный на частоту сети (пунктир на фиг. 2).



Фиг. 5. Параллельный контур с насыщенным сердечником.

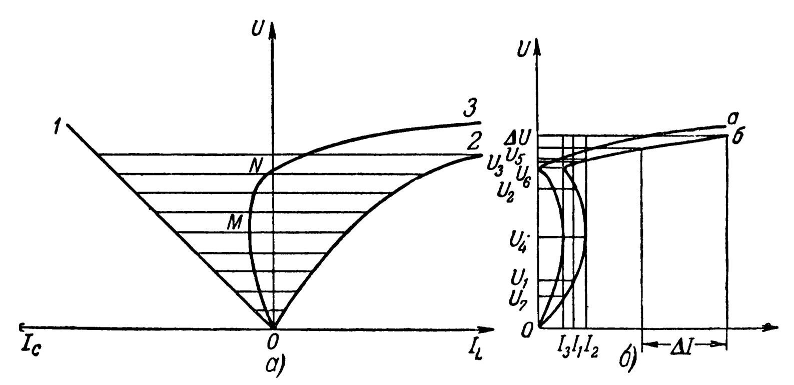
Отдельно контур показан на фиг. 5. Напряжение на конденсаторе изменяется пропорционально величине протекающего через него тока; по фазе это напряжение противоположно напряжению на обмотке дросселя.

При повышении напряжения сети напряжение на дросселе до наступления насыщения меняется пропорционально величине тока, а затем, по мере увеличения тока, а следовательно, и магнитного потока в сердечнике, прирост напряжения будет мал даже при сильном увеличении тока. Кривые зависимости изменения напряжений на дросселе *1* и на конденсаторе *2* от величины протекающего по ним тока показаны на фиг. 6,*а*.

Для нахождения тока в неразветвленной цепи нужно сложить токи в обеих цепях, как это показано на фиг. 6 (кривая *3*). Из результирующей кривой *3* видно, что при малых напряжениях общий ток имеет емкостный характер и с увеличением напряжения он возрастает до точки *М*;

затем он начинает уменьшаться и, наконец, доходит до нуля в точке N — точке резонанса. Здесь токи в обеих ветвях равны и противоположны по фазе и, следовательно, в общей цепи тока нет. При дальнейшем увеличении напряжения ток снова начинает расти, но будет иметь уже индуктивный характер; следовательно, в точке резонанса происходит опрокидывание фазы.

Если участок кривой OMN перевернуть на 180° относительно оси OU (фиг. 6,*б*), то получится кривая, показывающая зависимость тока от напряжения безотносительно к фазе тока.



Фиг. 6. Зависимость изменения напряжения на дросселе от протекающего по нему тока.

Все приведенные рассуждения были сделаны в предположении, что схема идеальна, т. е. не имеет потерь (кривая *а*). В реальной же схеме ток в момент резонанса не будет равен нулю и кривая зависимости тока от напряжения сместится вправо (кривая *б*). Величина смещения кривой характеризует в некотором масштабе активные потери в каждой точке. Из этой кривой видно, что при токах, меньших I_2, каждому значению тока соответствуют три значения напряжения; например, току I_1 соответствуют напряжения U_1, U_2 и U_3, току I_2 соответствуют два напряжения — U_4 и U_5, а токам, большим I_2, — только одно. При токах, меньших I_2, не все значения напряжения будут устойчивыми; так, если ток растет от нуля, то напряжение на контуре также увеличивается от нуля до U_4 и затем скачком возрастает до значения U_5 (скачок стабилизации),

после чего при дальнейшем увеличении тока напряжение будет расти плавно и медленно.

Если ток будет уменьшаться, то напряжение на контуре также будет плавно уменьшаться до величины U_6, а затем скачком уменьшится до величины U_7. Таким образом, при входном напряжении, создающем в цепи ток величиной не меньше, чем I_2, любое значительное увеличение входного напряжения, а следовательно, и тока ΔI, создаст достаточно малый прирост напряжения ΔU на контуре.

Описанный процесс стабилизации напряжения имеет место до тех пор, пока напряжение питающей сети станет слишком малым для создания в дросселе режима насыщения. Тогда стабилизация нарушится и выходное напряжение сразу резко упадет.

СХЕМЫ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время имеется большое количество стабилизаторов напряжения, отличающихся друг от друга по принципу работы, схемам и назначению.

Большинство схем достаточно хорошо осуществляет стабилизацию напряжения, но они громоздки, сложны в изготовлении, требуют специальной формы сердечника и поэтому не могут быть изготовлены радиолюбителями.

Наиболее пригодными и практически легко осуществимыми являются следующие схемы:

1. Феррорезонансный стабилизатор напряжения с разделенными дросселями с насыщенным и ненасыщенным сердечниками

Стабилизатор такого типа (фиг. 7) состоит из следующих трех элементов.

Дроссель *А* с насыщенным сердечником. К нему подводится только часть входного напряжения, поэтому намотку его целесообразно выполнить по схеме автотрансформатора, чтобы можно было повысить выходное напряжение (скомпенсировать падение напряжения на обмотках $W_{др1}$ и $W_к$).

Дроссель *Д*, сердечник которого собран с зазором, работающий в ненасыщенном режиме.

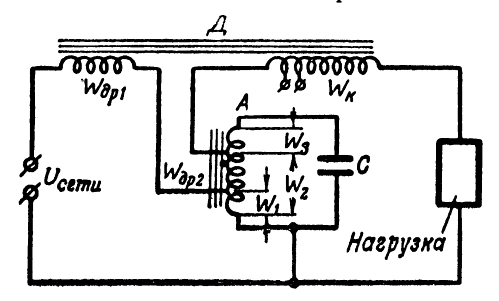
Конденсатор *С*, включенный параллельно обмотке автотрансформатора и образующий вместе с ней резонансный

контур. Автотрансформатор является основным регулирующим элементом схемы стабилизатора.

Автотрансформатор имеет три соединенные последовательно обмотки. Напряжение, подводимое к обмотке W_1, равно по величине напряжению сети минус падение напряжения на первой обмотке дросселя *Д*.

Обмотка W_2 совместно с W_1 образует вторичную обмотку автотрансформатора. Напряжение, снимаемое с этой обмотки, меняется незначительно.

Обмотка W_3 служит для создания добавочных ампервитков, необходимых для создания режима насыщения при



Фиг. 7. Феррорезонансный стабилизатор с разделенными дросселями с насыщенным и ненасыщенным сердечниками.

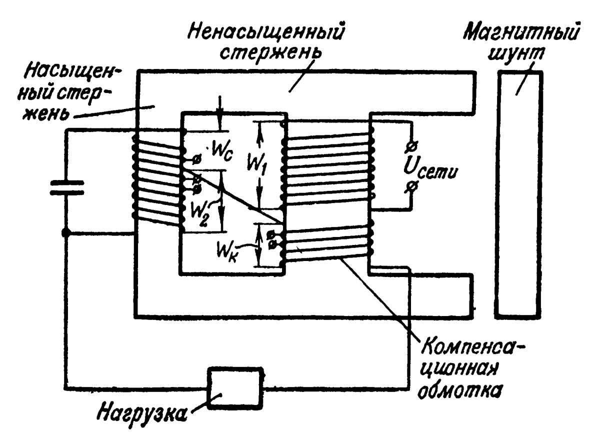
пониженном входном напряжении. В случае отсутствия этой обмотки уменьшение входного напряжения против номинала поведет к срыву стабилизации. Увеличение числа витков в обмотке W_3 вызывает рост магнитной индукции и позволяет получить стабилизированное напряжение при значительном уменьшении входного напряжения. Однако чрезмерное увеличение числа витков этой обмотки приведет к резкому возрастанию индукции в сердечнике, могущему вызвать перегрев автотрансформатора и создать повышенное напряжение на конденсаторах, что повлечет за собой пробой их.

Дроссель с насыщенным сердечником является компенсирующим элементом стабилизатора. Он состоит из двух обмоток: $W_{\partial p1}$ и $W_к$. Обмотка $W_{\partial p1}$ является основной, обмотка $W_к$—компенсационной. Компенсационная обмотка предназначена для компенсации того изменения напряжения, которое все же получается на вторичной обмотке автотрансформатора.

2. Феррорезонансный стабилизатор напряжения с дросселями с насыщенным и ненасыщенным сердечниками, совмещенными на одном ярме

Размещение дросселей с насыщенным и ненасыщенным сердечниками на различных магнитопроводах не является единственно возможным путем конструктивного выполнения стабилизатора.

Стабилизатор можно сконструировать и таким образом, чтобы оба дросселя разместились на одном ярме с общим



Фиг. 8. Стабилизатор с совмещенными на одном ярме дросселями с насыщенным и ненасыщенным сердечниками.

магнитопроводом. Но при этом для создания режима насыщения в одном дросселе и предохранения от насыщения второго дросселя необходимо, чтобы керны, несущие каждую из обмоток, имели различные сечения.

Практическая схема феррорезонансного стабилизатора напряжения, в которой дроссели с насыщенным и ненасыщенным сердечниками расположены на общем магнитопроводе, показана на фиг. 8. Как видно из чертежа, сечение среднего керна больше, чем сечения боковых. Обмотки, расположенные на общем магнитопроводе, образуют трансформатор. Первичная обмотка трансформатора W_1 расположена на среднем керне. Магнитный поток, образующийся в этом керне при протекании тока через обмотку, замыкается через правый и левый керны. Вследствие большого сечения сред-

него керна ампервитки первичной обмотки недостаточны для создания в нем режима насыщения. На левом сердечнике размещаются две соединенные последовательно обмотки: вторичная W_2 и добавочная W_c.

Подключенный параллельно этим обмоткам конденсатор образует вместе с ними резонансный контур. Поскольку сечение левого сердечника мало, то замыкающийся через него магнитный поток достаточен для насыщения сердечника.

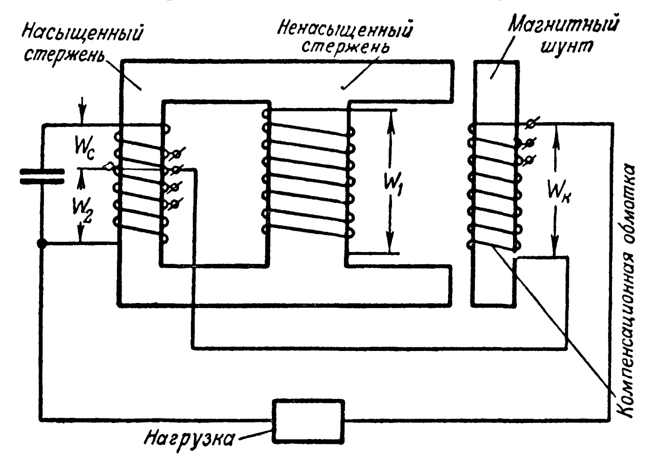
Правый сердечник, называемый магнитным шунтом, отделен от остальной части ярма воздушным зазором. Магнитный поток, замыкающийся через правый сердечник, будет иметь небольшую величину, так как воздушный зазор представляет для магнитного потока сопротивление во много раз большее, чем материал сердечника. Компенсационная обмотка $W_к$ располагается на среднем (фиг. 8) или на правом сердечнике (фиг. 9) и включается последовательно со вторичной обмоткой. Изменением величины воздушного зазора можно создать перераспределение магнитных потоков между шунтом и насыщенным сердечником; это явление используется для регулировки стабилизаторов.

Напряжение сети подается на первичную обмотку трансформатора. Протекающий по ней ток создаст магнитный поток, который распределяется по боковым сердечникам неравномерно — соотношение потоков зависит от величины воздушного зазора. Электродвижущая сила, возникающая на вторичной и добавочной обмотках, будет мало зависеть от изменения напряжения в первичной обмотке. Так, например, при повышении напряжения сети увеличившийся в первичной обмотке ток не создаст большого прироста магнитного потока в сердечнике со вторичной обмоткой, потому что сердечник был насыщен и до этого, а возрастание потока в среднем сердечнике в основном создаст увеличение потока в правом сердечнике, не несущем обмоток.

То небольшое приращение напряжения, которое все же получится на вторичной обмотке, будет скомпенсировано увеличившимся напряжением на компенсационной обмотке $W_к$. Направление витков компенсационной обмотки противоположно направлению витков первичной обмотки, поэтому напряжение на нагрузке, так же, как и в стабилизаторе с разделенными магнитопроводами, будет равно разности напряжений на вторичной и компенсационной обмотках.

3. Феррорезонансный стабилизатор напряжения без магнитного шунта

В рассмотренных схемах (фиг. 8 и 9) регулирующим элементом, отсасывающим часть магнитного потока и тем самым стабилизирующим напряжение, являлся магнитный шунт. Однако достаточно хорошую стабилизацию можно получить и без применения магнитного шунта.



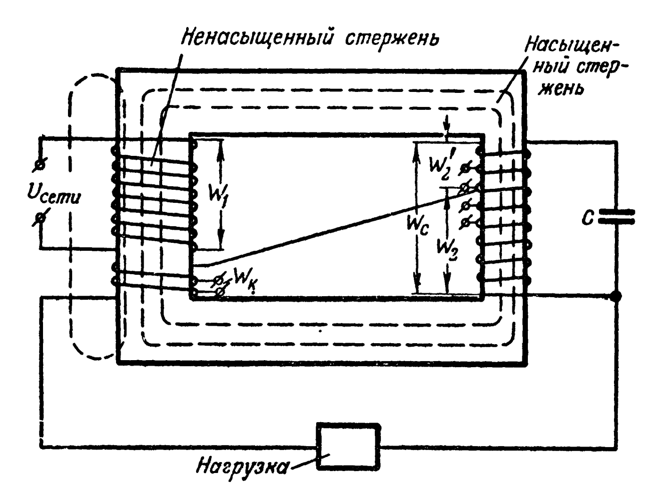
Фиг. 9. Стабилизатор с компенсационной обмоткой, расположенной на магнитном шунте.

Практическая схема стабилизатора с одним магнитопроводом показана на фиг. 10. От предыдущей эта схема отличается только отсутствием магнитного шунта. Ярмо имеет два сердечника: один с большим сечением, а другой — с меньшим.

На сердечнике с бо́льшим сечением расположены первичная и компенсационная обмотки, на сердечнике с меньшим сечением — вторичная и добавочная обмотки. Конденсатор подключен параллельно к обеим обмоткам, расположенным на тонком сердечнике.

При подаче на первичную обмотку сетевого напряжения образующийся магнитный поток будет недостаточен для создания насыщения в сердечнике с бо́льшим сечением. Сердечник же с меньшим сечением окажется сильно насыщенным и поэтому часть магнитного потока его — поток рассеяния — замыкается через воздух, как показано на

фиг. 10. При изменении напряжения питающей сети, например при повышении его, величина магнитного потока, а следовательно, и потока рассеяния увеличится и падение напряжения на первичной обмотке возрастет. В результате повышение напряжения на вторичной обмотке будет незна-



Фиг. 10. Стабилизатор без магнитного шунта.

чительным. А поскольку напряжение на нагрузке равно разности напряжений на вторичной и компенсационной обмотках, то оно будет изменяться еще меньше.

ВЫБОР СХЕМЫ

Выбор схемы для изготовления в радиолюбительских условиях определяется ее назначением (необходимая точность стабилизации), трудностью изготовления, наличием деталей, стоимостью, размерами, сложностью регулировки и т. д.

Каждая из описанных схем имеет свои достоинства и недостатки. Стабилизатор по схеме фиг. 7 дает наиболее высокую степень стабилизации. При изменении сетевого напряжения на 20—25% стабилизированное напряжение сохраняется с точностью до $\pm$ 1%. Пластины для изготовления дросселей и трансформаторов легко подобрать, — они типовые и не требует добавочной разрезки и подпили-

вания. Напряжение стабилизатора практически не зависит от величины нагрузки.

Однако размеры стабилизатора и расход материалов (пластины и провод), потребных для этой схемы, значительно превышают то же для остальных схем.

В стабилизаторе, собранном по схеме фиг. 8 и 9, вес, размеры и расход материалов невелики. Однако степень стабилизации напряжения получается несколько ниже, чем в предыдущей схеме. Так, при изменении входного напряжения не более, чем на $\pm 15\%$, выходное напряжение будет колебаться на $\pm 1\%$.

Пластин такой формы, которая необходима для изготовления магнитопроводов по этой схеме, промышленность не выпускает; их нужно переделывать из существующих пластин путем обрезки последних. Стабилизаторы, собранные по схеме фиг. 10, наиболее просты и имеют наименьший вес и размеры. Магнитопровод их выполняется из трансформаторной стали. Для изготовления магнитопровода можно использовать отходы от различных трансформаторных пластин.

Выходное напряжение таких стабилизаторов имеет наибольший разброс и регулировка их несколько сложнее, чем регулировка двух предыдущих схем.

РАСЧЕТ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Для того чтобы построить стабилизатор напряжения, необходимо предварительно рассчитать сечение насыщенного и ненасыщенного сердечников, емкость конденсатора, количество витков во всех обмотках, диаметры их проводов. Затем следует определить размеры сердечника, необходимые для размещения обмоток, размеры окон, ширину и число пластин сердечников.

Для проведения первой части расчета необходимо знать следующие величины:

1. Номинальное значение напряжения питающей сети $U_{сети}$.
2. Напряжение, на которое рассчитан потребитель, $U_{стаб.}$.
3. Мощность P, потребляемую им.

Номинальное напряжение сети для данной местности и напряжение, на которое рассчитана аппаратура, всегда известны. Потребляемую мощность можно подсчитать, зная количество и тип ламп и других потребляющих элементов, или выбрать из табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Мощности, потребляемые некоторыми типами радиоприемников и измерительной аппаратурой

Тип аппаратуры		Потребляемая мощность, *вт*
Генератор высокой частоты	ГС-3	15
Радиоприемники	„Рекорд" для сети 120 *в*	50
„	„Рига" Т-755, „Москвич"	55
„	„Пионер", „Рекорд" 47 (для сети 110–127 *в*)	60
„	„6Н1", ВЭФ супер „М-557"	65
„	„Салют", "Электросигнал-2", ТМ-8	75
Генератор звуковой частоты	„ГЗ-1"	75
Радиоприемники	„Урал-47" „Нева" (Маршал-М) „Рекорд" (для сети 220 *в*)	85
„	„6Н-25, 7Н-27, „Восток", СВД, „Нева" (выпуска 1948 г.), „Рекорд"-47 (для сети 220 *в*), радиола „Урал-47"	100
Радиоприемники	„Рига" Т-689	105
„	„Ленинград"	120
Радиола	„Д-11" (11 МГ-2)	170

1. Расчет стабилизатора напряжения с разделенными дросселями с насыщенным и ненасыщенным сердечниками (фиг. 7)

Расчет такого типа стабилизаторов был впервые предложен инженером Е. Сазановым („Известия электропромышленности слабых токов", № 12, 1937 г. и № 1, 1939 г.).

Сечение сердечника автотрансформатора связано с номинальной мощностью, на которую расчитан стабилизатор, следующим соотношением:

$$Q_A = 1{,}3\sqrt{P},$$

где Q_A — сечение среднего сердечника автотрансформатора в $см^2$;

P — мощность, потребляемая нагрузкой в *вт*.

Число витков в первичной обмотке должно быть таким, чтобы протекающий по ней ток создавал в сердечнике

магнитную индукцию B_A, равную 16 000 гаусс, что соответствует насыщению сердечника

$$w_1 = \frac{0{,}97 \cdot U_A \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot Q_A \cdot f \cdot B_A} = 16{,}4 \frac{U_{сети}}{Q_A},$$

где Q_A — сечение сердечника в *см*²;

f — частота питающей сети, равная 50 *гц*;

$U_A = 0{,}6 U_{сети}$ — та часть напряжения сети, которая приходится на первичную обмотку трансформатора.

Число витков во вторичной обмотке:

$$w_2 = w_1 \frac{U_{стаб}}{0{,}97 U_A} = 28{,}2 \frac{U_{стаб}}{Q_A}.$$

Емкость конденсаторов выбирается в зависимости от мощности стабилизатора. Для стабилизаторов мощностью до 100 *вт* емкость надо брать не менее 4—6 *мкф*, от 100 до 250 *вт* — не менее 8 *мкф*. Если применить конденсаторы с большей емкостью, то тогда возможно уменьшить общее число витков обмотки, не нарушая резонанс. Рабочее напряжение конденсаторов должно быть не менее 500—600 *в*, это убережет их от пробоя. Для того чтобы конденсатор образовал с обмоткой автотрансформатора контур, настроенный на частоту питающей сети, общее число витков обмотки $w_{др\,2}$ следует расчитать по формуле

$$w_{др\,2} = 2\,000 \sqrt{\frac{l}{CQ_A}} \text{ витков,}$$

где l — длина средней магнитной силовой линии в *см*;

C — емкость выбранного конденсатора в *мкф*;

Q_A — сечение сердечника автотрансформатора в *см*².

Количество витков в третьей обмотке:

$$w_3 = w_{др\,2} - w_2.$$

Диаметры проводов обмоток W_1, W_2, W_3 (фиг. 11) определяются в зависимости от величины протекающих по ним токов.

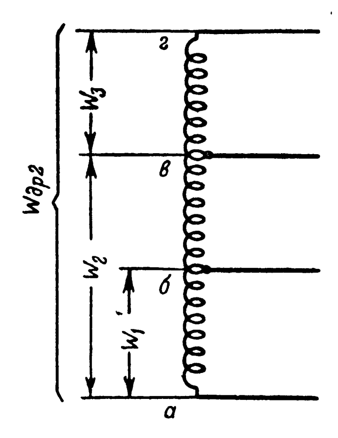
Ток в нагрузке $I_{нагр} = \dfrac{P}{U_{стаб}}$;

на участке *а-б* $I_1 = 3{,}5 I_{нагр}$;

на участке *б-в* $I_2 = 2{,}5 I_{нагр}$;

на участке *в-г* $I_3 = 2 I_{нагр}$;

Для того чтобы обмотки не перегревались, при расчёте диаметра проводов задаются плотностью тока не более $2 a/мм^2$. Тогда:



Фиг. 11. Обмотка автотрансформатора.

$$d_1 = 1{,}5\sqrt{I_{нагр}};$$

$$d_2 = 1{,}27\sqrt{I_{нагр}};$$

$$d_3 = 1{,}13\sqrt{I_{нагр}}.$$

Для нахождения сечения сердечника, числа витков и диаметров проводов обмоток дросселя нужно задаться определенным магнитопроводом и подсчитать площадь его окна S $мм^2$.

Сечение меди основной обмотки $W_{др\,1}$ будет:

$$q_1 = 2{,}5\frac{P}{U_{сети}}\ мм^2,$$

диаметр провода обмотки

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{q_1}{\pi}}\ мм.$$

Выбрав по табл. 2 тип обмоточного провода, определим диаметр его в изоляции $d_{1\,из}$. Тогда:

$$w_{др\,1} = \frac{0{,}7\cdot S}{d_{1\,из}^2\cdot 1{,}3},$$

где S — площадь окна в $мм^2$;

1,3 — коэффициент заполнения площади окна обмоткой.

Площадь сечения сердечника дросселя определяется из выражения

$$Q_{др\,1} = 34\frac{U_{сети}}{w_{др\,1}}.$$

Число витков компенсационной обмотки:

$$w_к = 0{,}2\cdot w_{др\,1}\frac{U_{стаб}}{U_{сети}}.$$

ТАБЛИЦА 2

Диаметры проводов в изоляции

Диаметр провода, *мм*	Сечение провода, $мм^2$	Диаметр изолированного провода, *мм*						
		ПЭ, ПЭН, ПЭЛ, ПЭГ	ПЭБО	ПЭБД	ПЭШО	ПЭШД	ПШО	ПБД
0,2	0,0314	0,21	0,3	0,38	0,25	0,29	0,28	0,37
0,21	0,0346	0,23	0,32	0,4	0,29	0,35	0,33	0,38
0,23	0,0416	0,25	0,34	0,42	0,31	0,37	0,35	0,40
0,25	0,0491	0,27	0,36	0,44	0,33	0,39	0,37	0,42
0,27	0,0573	0,29	0,40	0,49	0,35	0,41	0,39	0,47
0,29	0,0661	0,31	0,42	0,51	0,37	0,42	0,41	0,49
0,31	0,0755	0,34	0,45	0,54	0,40	0,46	0,43	0,51
0,33	0,0885	0,36	0,47	0,56	0,42	0,48	0,45	0,53
0,35	0,0962	0,39	0,49	0,58	0,44	0,5	0,47	0,55
0,38	0,113	0,41	0,52	0,61	0,47	0,53	0,50	0,58
0,41	0,132	0,44	0,55	0,64	0,50	0,56	0,53	0,61
0,44	0,152	0,475	0,58	0,67	0,53	0,59	0,56	0,64
0,47	0,173	0,5	0,62	0,7	0,56	0,62	0,59	0,67
0,51	0,20	0,54	0,65	0,74	0,60	0,66	0,63	0,71
0,55	0,246	0,59	0,70	0,79	0,65	0,71	0,67	0,75
0,59	0,27	0,63	0,74	0,83	0,69	0,75	0,71	0,79
0,64	0,322	0,68	0,79	0,88	0,74	0,80	0,76	0,84
0,69	0,37	0,73	0,84	0,93	0,79	0,85	0,81	0,89
0,74	0,43	0,79	0,9	0,99	0,85	0,91	0,86	0,94
0,8	0,503	0,85	0,96	1,05	0,91	0,97	0,92	1,0
0,86	0,581	0,81	1,02	1,11	0,97	1,03	0,98	1,06
0,93	0,68	0,93	1,09	1,18	1,04	1,16	1,05	1,13
1,0	0,785	1,05	1,16	1,25	1,11	1,17	1,12	1,20
1,08	0,93	1,14	1,30	1,44	—	—	—	—
1,16	1,05	1,22	1,38	1,52	—	—	—	—
1,25	1,21	1,31	1,47	1,61	—	—	—	—
1,35	1,43	1,41	1,57	1,71	—	—	—	1,65
1,45	1,65	1,51	1,67	1,81	—	—	—	1,75
1,56	1,90	1,62	1,78	1,92	—	—	—	1,86
1,68	2,22	1,74	1,90	2,04	—	—	—	1,98
1,81	2,57	1,87	2,03	2,17	—	—	—	2,11
1,95	2,99	—	—	—	—	—	—	2,25
2,1	3,46	—	—	—	—	—	—	2,40
2,26	3,99	—	—	—	—	—	—	2,56
2,44	4,7	—	—	—	—	—	—	2,74
2,63	5,44	—	—	—	—	—	—	2,93

Диаметр меди компенсационной обмотки определяется в зависимости от тока в нагрузке

$$d_к = 0,8\sqrt{I_{нагр}} \ мм.$$

Диаметр провода с изоляцией определяется из табл. 2.

Пример 1. Рассчитать стабилизатор мощностью $P = 200$ *вт* для сети с напряжением $U_{сети} = 220$ *в* и стабилизированным напряжением $U_{стаб} = 220$ *в*.

Сечение сердечника автотрансформатора:

$$Q_A = 1,3\sqrt{P} = 1,3 \cdot \sqrt{200} = 18,5 \ см^2.$$

Число витков в первичной обмотке:

$$w_1 = 16,4 \frac{U_{сети}}{Q_A} = 16,4 \frac{220}{18,5} = 195 \text{ витков}.$$

Число витков во вторичной обмотке:

$$w_2 = 28,2 \frac{U_{стаб}}{Q_A} = 28,2 \frac{220}{18,5} = 336 \text{ витков}.$$

Емкость конденсаторов берем 8 *мкф* с $U_{раб} = 600$ *в*.

Выбираем пластины типа Ш-32. Длина средней магнитной силовой линии в нем равна 30 *см*. Общее число витков во всех обмотках автотрансформатора

$$w_{общ} = 2\,000\sqrt{\frac{l}{CQ_A}} = 2\,000\sqrt{\frac{30}{8 \cdot 18,5}} = 897 \text{ витков}.$$

Число витков в третьей обмотке:

$$w_3 = w_{общ} - w_2 = 897 - 336 = 561 \text{ виток}.$$

Ток в нагрузке:

$$I_{нагр} = \frac{P}{U_{стаб}} = \frac{200}{220} = 0,91 \ а.$$

Диаметр меди проводов на участках а—б, б—в и в—г:

$$d_1 = 1,5\sqrt{I_{нагр}} = 1,5\sqrt{0,91} = 1,43 \ мм;$$

$$d_2 = 1,27\sqrt{I_{нагр}} = 1,27\sqrt{0,91} = 1,21 \ мм;$$

$$d_3 = 1,13\sqrt{I_{нагр}} = 1,13\sqrt{0,91} = 1,08 \ мм.$$

По табл. 2 находим диаметры проводов в изоляции:

$$d_{1из} = 1,51 \ мм; \quad d_{2из} = 1,31 \ мм; \quad d_{3из} = 1,14 \ мм.$$

Для изготовления дросселя берем пластины Ш-25 (табл. 3).

Из табл. 3 находим площадь окна этих пластин $S = 1\,830$ *мм²*. Сечение меди основной обмотки

$$q_{\partial p_1} = 2{,}5\,\frac{P}{U_{сети}} = 2{,}5\,\frac{200}{220} = 2{,}24\ мм^2.$$

Диаметр меди

$$d_{\partial p_1} = 2\sqrt{\frac{q}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{2{,}24}{3{,}14}} = 1{,}68\ мм.$$

По табл. 2 находим диаметр провода в изоляции

$$d_{1из} = 1{,}74\ мм.$$

Число витков основной обмотки:

$$w_{\partial p_1} = \frac{0{,}7S}{d_{1из}^2 1{,}3} = \frac{0{,}7 \cdot 1\,830}{1{,}74^2 \cdot 1{,}3} = 310 \text{ витков.}$$

ТАБЛИЦА 3

Размеры трансформаторных пластин

№ п/п	Марка пластины	Размеры пластин, *см*							Площадь окна *yz см²*
		a	*z*	*y*	*d*	*e*	*c*	*f*	
1	Ш-18	1,8	0,9	2,7	5,4	3,6	0,9	0,9	2,43
2	Ш-18	1,8	1,8	2,7	7,6	3,8	1,1	1,1	4,86
3	Ш-19	1,9	1,7	5,6	7,7	6,8	1,2	1,2	9,5
4	Ш-19	1,9	1,7	4,6	7,7	5,8	1,2	1,2	7,82
5	Ш-20	2,0	1,0	3,0	6,4	4,2	1,2	1,2	3,0
6	Ш-20	2,0	2,0	2,0	8,2	3,1	1,1	1,1	4,0
7	Ш-20	2,0	1,8	3,0	9,0	4,2	1,2	1,2	5,4
8	Ш-20	2,0	2,0	3,0	8,4	4,2	1,2	1,2	6,0
9	Ш-20	2,0	2,0	5,0	8,4	6,2	1,2	1,2	10,0
10	Ш-20	2,0	1,8	5,6	9,0	6,8	1,2	1,2	10,1
11	Ш-24	2,4	2,4	2,4	9,0	3,8	1,4	1,4	5,76
12	Ш-24	2,4	2,4	3,6	10,2	5,1	1,5	1,5	8,64
13	Ш-24	2,4	2,3	4,3	10,0	5,8	1,5	1,5	9,89
14	Ш-24	2,4	2,4	6,0	10,4	7,6	1,6	1,6	14,4
15	Г-24	2,4	2,2	6,0	11,0	7,0	—	—	13,2
16	Ш-25	2,5	2,5	6,0	10,5	7,5	1,5	1,5	15,0
17	Ш-25	2,5	2,5	6,25	10,5	7,75	1,5	1,5	15,6
18	Ш-25	2,5	3,15	5,8	12,2	7,5	1,7	1,7	18,3
19	Ш-30	3,0	2,7	5,4	12,5	7,4	2,0	2,0	14,6
20	Ш-32	3,2	1,6	4,8	9,6	6,4	1,6	1,7	7,68
21	Ш-32	3,2	3,2	3,2	1,3	4,9	1,7	1,7	10,2
22	Ш-32	3,2	3,2	4,8	13	6,5	1,7	1,7	15,4
23	Ш-32	3,2	3,5	4,2	14,0	9,0	1,9	1,9	25,2
24	Ш-32	3,2	3,2	8,0	13,4	9,4	1,9	1,5	25,6
25	Ш-40	4,0	2,0	6,0	12,0	8,0	2,0	2,0	12
26	Ш-40	4,0	4,0	4,0	16,0	6,0	2,0	2,2	16
27	Ш-40	4,0	4,0	6,0	16,0	8,0	2,0	2,0	24
28	Ш-40	4,0	4,0	10,0	10,4	12,2	2,2	2,2	40

Сечение дросселя:

$$Q_{\partial p_1} = 34 \frac{U_{сети}}{w_{\partial p_1}} = 34 \frac{220}{310} = 24 \text{ см}^2.$$

Число витков компенсационной обмотки:

$$w_к = 0{,}2 w_{\partial p_1} \frac{U_{стаб.}}{U_{сети}} = 0{,}2 \cdot 310 \frac{220}{220} = 62 \text{ витка.}$$

Диаметр меди компенсационной обмотки:

$$d_к = 0{,}8 \sqrt{I_{нагр}} = 0{,}8 \sqrt{0{,}91} = 0{,}77 \text{ мм.}$$

Диаметр провода в изоляции опять находим из табл. 2

$$d_{к\ из} = 0{,}85 \text{ мм}$$

2. Расчет феррорезонансного стабилизатора напряжения, собранного по схеме фиг. 8

В основу расчета таких стабилизаторов кладется величина электродвижущей силы e_0, развиваемая одним витком первичной обмотки при номинальном напряжении сети. Для стабилизаторов мощностью до 250 *вт* $e_0 = 0{,}035\sqrt{P}$, где P — мощность нагрузки стабилизатора в *вт*.

Сечения (в *см*²) насыщенного сердечника Q_1, ненасыщенного сердечника Q_2 и магнитного шунта $Q_ш$ находятся по следующим эмпирическим формулам [1]:

$$Q_1 = 36 e_0;$$
$$Q_2 = 0{,}558 Q_1;$$
$$Q_ш = 0{,}4 Q_1.$$

Эти же величины можно определить по графику (фиг. 12), на котором приведены кривые зависимости сечений всех сердечников от мощности в нагрузке.

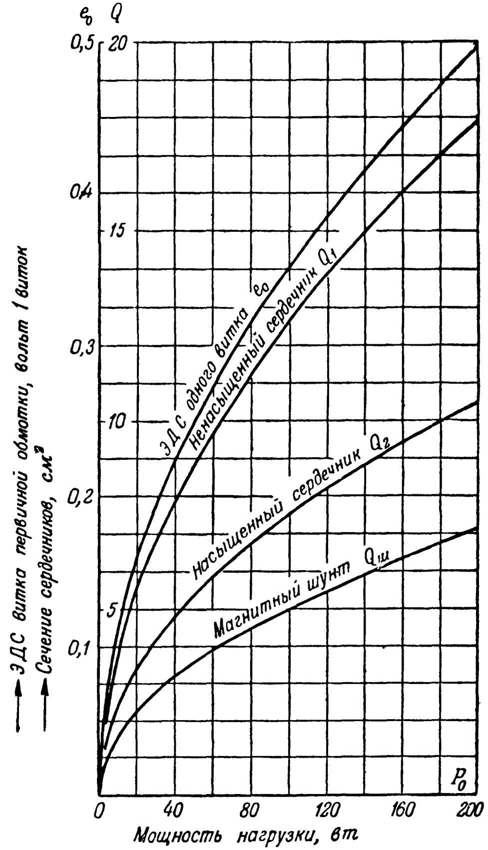
Числа витков в первичной обмотке w_1, вторичной w_2, компенсационной $w_к$ и добавочной w_c подсчитываются по формулам:

$$w_1 = \frac{U_{сети}}{e_0}, \quad w_2 = 1{,}43 \frac{U_{стаб.}}{e_0}, \quad w_к = 0{,}15 w_2,$$

$$w_c = 1{,}18 \frac{U_c}{e_0},$$

[1] Эмпирические формулы для определения сечений сердечников и чисел витков в обмотках предложены проф. А. Д. Бамдас и др. в статье, опубликованной в журнале „Вестник электропромышленности“, № 10, 1944 г.

где $U_{сети}$ — номинальное напряжение сети;
$U_{стаб}$ — стабилизированное напряжение;
U_c — напряжение, допустимое для конденсаторов.



Фиг. 12. График для определения э. д. с. одного витка первичной обмотки и сечений сердечников.

Емкость конденсатора выбирается по формуле:

$$C = 11000 \frac{P}{U_c^2} \text{ мкф}.$$

U_c — напряжение переменного тока, которое конденсатор может выдерживать длительное время. Это напряжение не должно превышать 65% от рабочего напряжения, указанного на этикетке конденсатора.

Сечения проводов всех обмоток определяются в зависимости от величины протекающих по ним токов. Токи в обмотках определяются по формулам:

$$I_1 = \frac{2P}{U_{сети}},\quad I_c = 1{,}5\frac{P}{U_c},\quad I_к = \frac{P}{U_{стаб.}},\quad I_2 = \sqrt{I_c^2 + I_к^2}.$$

Для расчета диаметров проводов (без изоляции) обмоток W_1 и W_2 задаются плотностью тока в 2 $а/мм^2$, а для обмоток $W_к$ и W_c — 1,5 $а/мм^2$. Тогда

$$d_1 = 0{,}8\sqrt{I_1},\quad d_2 = 0{,}9\sqrt{I_2},$$

$$d_к = 0{,}8\sqrt{I_к},\quad d_c = 0{,}9\sqrt{I_c}.$$

Диаметры проводов можно также определить из графика на фиг. 13.

Пример 2. Рассчитать стабилизатор напряжения для приемника, потребляющего от сети мощность $P = 60$ *вт*.

$$U_{сети} = 120\ в,\quad U_{стаб} = 120\ в.$$

Число вольт на виток первичной обмотки

$$e_0 = 0{,}035\sqrt{P} = 0{,}035\sqrt{60} = 0{,}27\ \text{вольт/виток}.$$

Сечение ненасыщенного сердечника

$$Q_1 = 36\cdot e_0 = 36\cdot 0{,}27 = 9{,}75\ см^2.$$

Сечение насыщенного сердечника

$$Q_2 = 0{,}558\cdot Q_1 = 0{,}558\cdot 9{,}75 = 5{,}45\ см^2.$$

Сечение сердечника магнитного шунта

$$Q_ш = 0{,}4\quad Q_1 = 0{,}4\cdot 9{,}75 = 3{,}9\ см^2.$$

Берем конденсаторы с рабочим напряжением $U_{раб} = 600$ *в*; тогда

$$U_c = 0{,}65\cdot U_{раб} = 0{,}65\cdot 600 = 390\ в.$$

Емкость конденсатора

$$C = 11\,000\frac{P}{U_c^2} = 11\,000\frac{60}{390^2} = 4{,}35\ мкф.$$

Число витков первичной обмотки

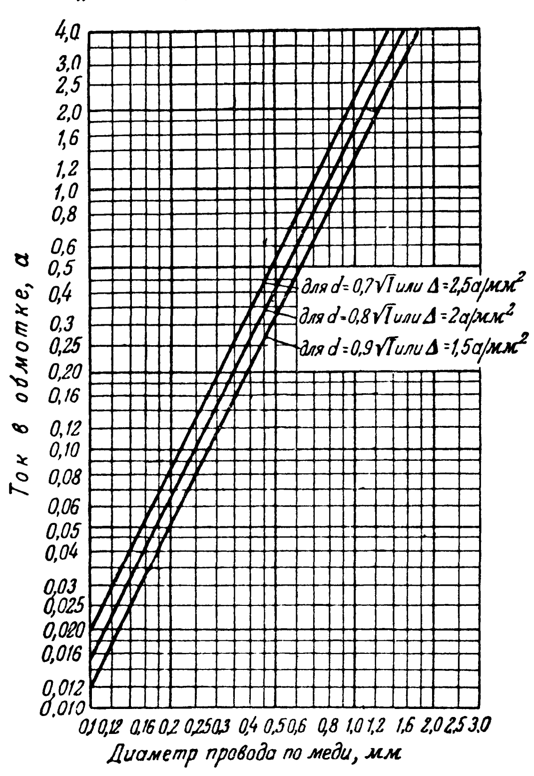
$$w_1 = \frac{U_{сети}}{e_0} = \frac{120}{0{,}27} = 445\ \text{витков}.$$

Число витков вторичной обмотки

$$w_2 = 1{,}43 \frac{U_{стаб.}}{e_0} = 1{,}43 \frac{120}{0{,}27} = 635 \text{ витков.}$$

Число витков компенсационной обмотки

$$w_k = 0{,}15 w_2 = 0{,}15 \cdot 635 = 95 \text{ витков.}$$



Фиг. 13. График для нахождения диаметра провода.

Число витков добавочной обмотки

$$w_c = 1{,}18 \frac{U_0}{e_0} = 1{,}18 \frac{390}{0{,}27} = 1\,700 \text{ витков.}$$

Ток в первичной обмотке

$$I_1 = \frac{2P}{U_1} = \frac{2 \cdot 60}{120} = 1 \text{ } a.$$

Ток в добавочной обмотке

$$I_c = 1{,}5 \frac{P}{U_c} = 1{,}5 \frac{60}{390} = 0{,}23 \ a.$$

Ток в компенсационной обмотке

$$I_к = \frac{P}{U_{стаб}} = \frac{60}{120} = 0{,}5 \ a.$$

Ток во вторичной обмотке

$$I_2 = \sqrt{I_к^2 + I_c^2} = \sqrt{0{,}5^2 + 0{,}23^2} = 0{,}55 \ a.$$

Диаметры проводов

$$d_1 = 0{,}8 \sqrt{I_1} = 0{,}8 \cdot 1 = 0{,}8 \ мм;$$

$$d_c = 0{,}9 \sqrt{I_c} = 0{,}9 \ \sqrt{0{,}23} = 0{,}43 \ м \ ;$$

$$d_2 = 0{,}9 \sqrt{I_2} = 0{,}9 \ \sqrt{0{,}55} = 0{,}67 \ мм;$$

$$d_к = 0{,}8 \sqrt{I_k} = 0{,}8 \ \sqrt{0{,}5} = 0{,}64 \ мм.$$

Диаметры проводов в изоляции находим по таблице 2.

3. Расчет стабилизаторов, собранных по схеме фиг. 10

Сечение ненасыщенного сердечника определяется по формуле:

$$Q_1 = 1{,}1 \sqrt{P} \ см^2.$$

Сечение насыщенного сердечника должно быть уменьшено в 1,65 раза

$$Q_2 = \frac{Q_1}{1{,}65} \ см^2.$$

Стандартных трансформаторных пластин, которые можно было бы применить для изготовления стабилизатора без переделок, промышленность не выпускает. Поэтому пластины придется нарезать из имеющихся стандартных. Наиболее выгодными размерами будут такие, при которых отношение ширины окна a к его высоте b равнялось бы 0,7 (фиг. 14).

Для определения числа витков первичной обмотки подсчитаем сначала напряжение, индуктируемое в одном витке первичной обмотки e_0:

$$e_0 = 4{,}44 B \cdot Q_1 \cdot f \cdot 10^{-8} = 0{,}022 Q_1,$$

где $f = 50$ *гц*.

B — величина индукции в ненасыщенном сердечнике, равная 10 000 гаус.

Число витков в первичной обмотке

$$w_1 = \frac{U_{сети}}{e_0}.$$

Число витков во вторичной обмотке

$$w_2 = 1{,}4\frac{U_{стаб}}{e_0}.$$

Число витков в компенсационной обмотке

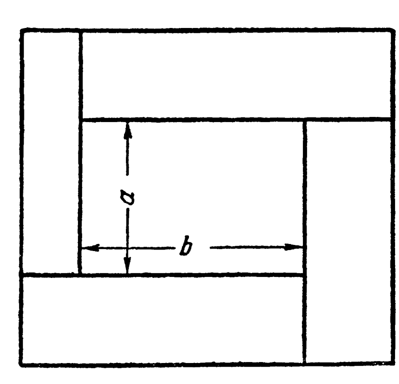
$$w_к = 0{,}3w_2.$$

Общее число витков, расположенных на насыщенном сердечнике,

$$w_c = \frac{U_c}{e_0},$$

где $U_c = 0{,}65U_{c\,раб}$;

$U_{c\,раб}$ — рабочее напряжение, указанное на конденсаторе.



Фиг. 14. Размеры окна.

Емкость конденсаторов

$$C = 11\,000\frac{P}{U_c^2}\ мкф.$$

Токи в обмотках:

$$I_1 = \frac{2P}{U_1};\quad I_c = 1{,}5\frac{P}{U_c};\quad I_к = \frac{P}{U_{стаб}};\quad I_2 = \sqrt{I_c^2 + I_к^2},$$

где I_1 — ток в первичной обмотке;

I_c — ток в обмотке W_2';

I_2 — ток во вторичной обмотке;

$I_к$ — ток в компенсационной обмотке.

Диаметры проводов обмоток определяются по величине протекающих по ним токов:

$$d_1 = 0{,}8\sqrt{I_1};\qquad d_2 = 0{,}9\sqrt{I_2}$$

$$d_к = 0{,}8\sqrt{I_к};\qquad d_c = 0{,}9\sqrt{I_c}.$$

Диаметры проводов можно также определить из графика фиг. 13.

Пример 3. Рассчитать стабилизатор напряжения для радиоприемника типа „Ленинград". $U_{сети} = 220$ *в*; $U_{стаб} = 220$ *в*, потребляемая приемником мощность (из табл. 1) $P = 120$ *вт*.

Сечение ненасыщенного сердечника

$$Q_1 = 1{,}1 \sqrt{P} = 1{,}1 \sqrt{120} = 12{,}1 \text{ см}^2.$$

Сечение насыщенного сердечника

$$Q_2 = \frac{Q_1}{1{,}65} = \frac{12{,}1}{1{,}65} = 7{,}35 \text{ см}^2.$$

Напряжение, индуктируемое в одном витке первичной обмотки

$$e_0 = 0{,}022\ Q_1 = 0{,}022 \cdot 12{,}1 = 0{,}27 \text{ в}.$$

Число витков в первичной обмотке

$$w_1 = \frac{U_{сети}}{e_0} = \frac{220}{0{,}27} = 815 \text{ витков}.$$

Число витков во вторичной обмотке

$$w_2 = 1{,}4 \frac{U_{сети}}{e_0} = 1{,}4 \frac{220}{0{,}27} = 1\,140 \text{ витков}.$$

Число витков в компенсационной обмотке

$$w_k = 0{,}3\ w_2 = 0{,}3 \cdot 1\,140 = 343 \text{ витка}.$$

Выбираем конденсатор с рабочим напряжением $U_{c\ раб} = 600$ *в*, тогда

$$U_c = 0{,}65\ U_{c\ раб} = 0{,}65 \cdot 600 = 390 \text{ в}.$$

Общее число витков на насыщенном сердечнике

$$w_c = \frac{U_c}{e_0} = \frac{390}{0{,}27} = 1\,445 \text{ витков}.$$

Число витков в добавочной обмотке

$$w_c - w_2 = 1\,445 - 1\,140 = 305 \text{ витков}.$$

Емкость конденсаторов

$$C = 11\,000 \frac{P}{U_c^2} = 11\,000 \frac{120}{390^2} = 8{,}7 \text{ мкф}.$$

Округляя полученную величину, берем $C = 9$ *мкф*.

Токи в обмотках:

$$I_1 = \frac{2P}{U_1} = \frac{2 \cdot 120}{220} = 1{,}09\ a; \quad I_c = 1{,}5 \frac{P}{U_{стаб.}} = \frac{1{,}5 \cdot 120}{220} = 0{,}82\ a.$$

$$I_к = \frac{P}{U_{стаб}} = \frac{120}{220} = 0{,}545\ a; \quad I_2 = \sqrt{I_c^2 + I_2^2} = \sqrt{0{,}82^2 + 0{,}545^2} = 0{,}9\ a;$$

Диаметры проводов этих обмоток (без изоляции):

$d_1 = 0{,}8\sqrt{I_1} = 0{,}8\sqrt{1{,}09} = 0{,}835$ *мм*; $d_2 = 0{,}9\sqrt{I_2} = 0{,}9\sqrt{0{,}9} = 0{,}85$ *мм*,

$d_к = 0{,}8\sqrt{I_к} = 0{,}8\sqrt{0{,}545} = 0{,}63$ *мм*; $d_c = 0{,}9\sqrt{I_c} = 0{,}9\sqrt{0{,}82} = 0{,}82$ *мм*.

Выбрав провода типа ПЭШО, из табл. 2 находим диаметры их в изоляции

$d_{1из} = 0{,}97$ *мм*; $d_{2из} = 0{,}97$ *мм*; $d_{к\ из} = 0{,}74$ *мм*; $d_{с\ из} = 0{,}97$ *мм*.

Для регулировки стабилизаторов, собранных по любой схеме, в последних 30% витков обмоток W_2 и W_k необходимо сделать отводы. В обмотке W_2 нужно сделать 4—5 отводов через равные количества витков, а в обмотке $W_к$—через каждые 10—15 витков.

ВЫБОР СЕРДЕЧНИКА

Закончив электрический расчет стабилизаторов, необходимо выбрать основные конструктивные данные его: размеры сердечника и каркаса и число пластин, составляющих магнитопровод.

Форму и размеры сердечника следует выбирать из следующих соображений:

Размеры окон должны быть достаточны для размещения в них необходимых обмоток и изоляционных прокладок.

Размеры окон не должны значительно превышать размеры укладываемых в них обмоток.

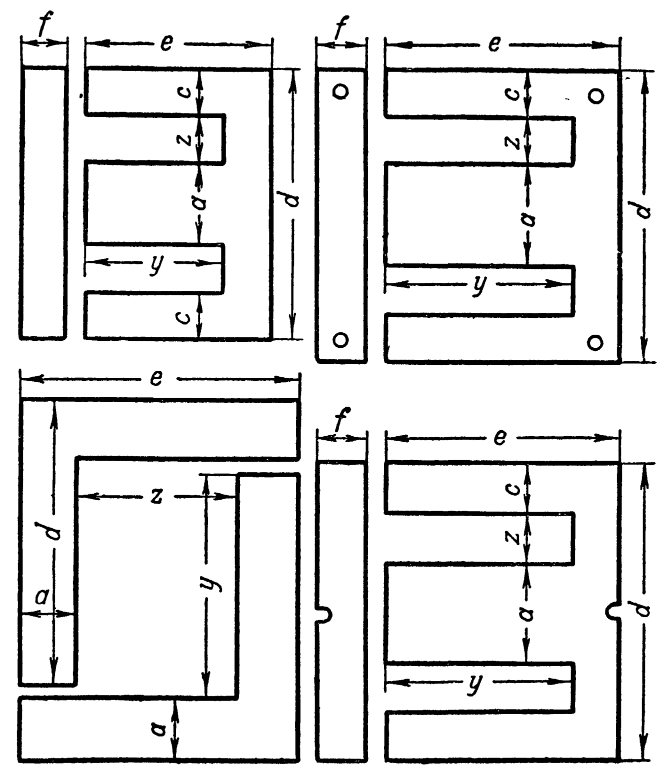
Число пластин во всех сердечниках должно быть одинаково, даже тогда, когда сечения этих сердечников различны.

При выборе полос для изготовления магнитопровода нужно стремиться к тому, чтобы обрезка их была минимальна.

Выбранные пластины должны быть ровными и плоскими и не иметь заусенцев. Кроме того, для уменьшения потерь и разогрева стабилизатора пластины следует обязательно хотя бы с одной стороны покрыть бакелитовым, шеллачным или любым другим изолирующим лаком. Если пластины не имеют покрытия, то их необходимо прокрасить или оклеить с одной стороны тонкой папиросной бумагой.

Для различных схем стабилизаторов рекомендуются следующие типы пластин.

Для схемы фиг. 7 — Ш-образные пластины без переделок; для схемы фиг. 8, 9 — Ш-образные пластины с последующей переделкой; для схемы фиг. 10 — полосовые или Г-образные пластины с последующей переделкой.



Фиг. 15. Образцы трансформаторных пластин.

Образцы трансформаторных пластин представлены на фиг. 15.

Переделка пластин для сердечника стабилизатора по схеме фиг. 8 и 9 заключается в обрезке боковой и средней полосы (на фиг. 16,*б* и *в* подлежащие обрезке части заштрихованы). После подрезки ширина средней полосы должна быть в 1,65 раза больше боковой полосы.

При переделке Г-образных пластин одну из полос подрезают так, чтобы она составляла 0,6 от своего первоначального размера.

Число пластин в сердечниках определяется толщиной их, а также толщиной набора и сечением сердечника.

Задавшись типом и шириной пластины, определим толщину набора сердечника b':

$$b' = \frac{Q}{a},$$

где Q — сечение ненасыщенного сердечника в *см*²;
a — ширина пластины сердечника.

Количество пластин n в сердечнике определяется по формуле:

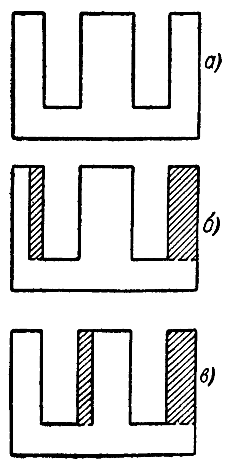
$$n = \frac{10b'}{t},$$

где t — толщина пластины в *мм*.

Трансформаторные пластины, выпускаемые нашей промышленностью, штампуются из листовой высоколегированной стали марок Э-3-А и Э-4-А, толщиной 0,35 *мм* и 0,5 *мм* (ГОСТ 802-41).

После покрытия пластин лаком, краской или оклейки бумагой толщина их несколько увеличится и тогда толщина сердечника b определится по формуле:

$$b_{(см)} = 0{,}12nt.$$



Фиг. 16. Переделка трансформаторных пластин.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАРКАСОВ

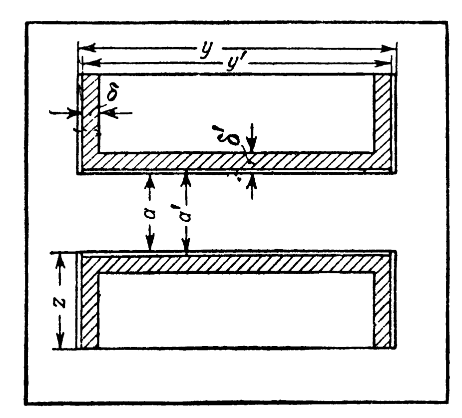
Обмотки стабилизатора размещаются на каркасе, внутренние размеры которого должны быть больше, а внешние — меньше соответствующих размеров сердечника на 1 *мм* на сторону, т. е.

$$a' = a + 1 \text{ мм}; \quad b' = b + 1 \text{ мм}; \quad y' = y - 1 \text{ мм},$$

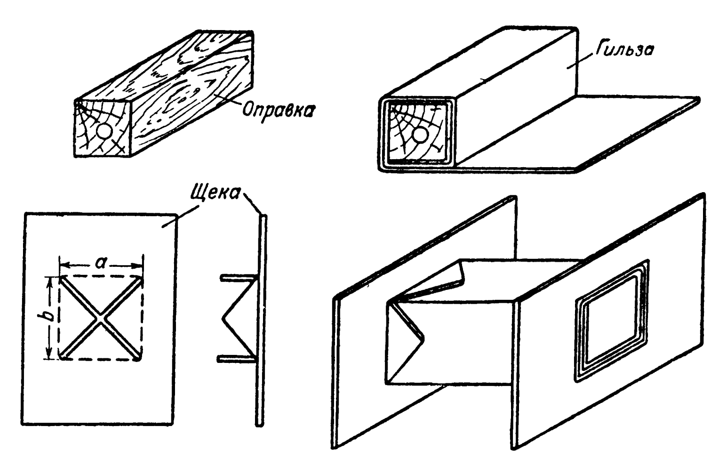
где a', b' и y' — соответственно ширина, длина и высота внутренней части каркаса (см. фиг. 17).

Каркасы могут быть «мягкими» и «жесткими». «Мягкий» каркас изготовляется из прессшпана, толстого картона или другого аналогичного материала. Такой каркас состоит из

гильзы и двух щечек (фиг. 18). Для изготовления гильзы нужно предварительно вырезать из сухого дерева прямоугольную оправку, размеры которой должны быть равны размерам сердечника. Затем следует вырезать длинную полоску тонкого картона или плотной бумаги. Ширина по-



Фиг. 17. Эскиз каркаса.

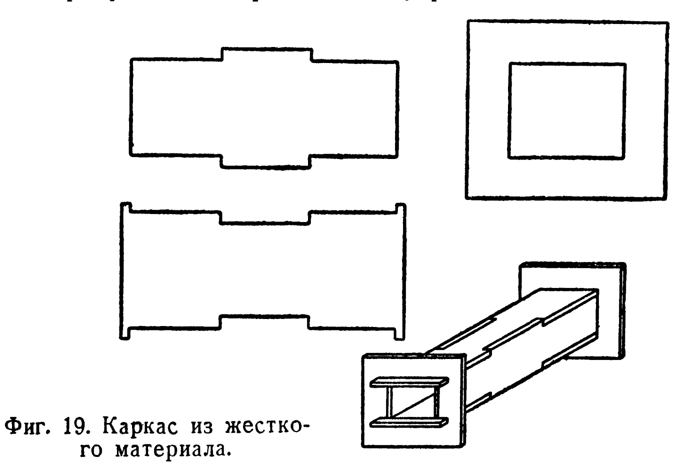


Фиг. 18. Каркас из мягкого материала.

лоски должна быть равна длине оправки, а длина — достаточной для того, чтобы полоску можно было обернуть вокруг оправки в несколько слоев. Заготовку гильзы следует промазать с одной стороны столярным или каким-либо дру-

гим клеем и плотно обернуть вокруг оправки до получения гильзы со стенками толщиной в 1,5—2,5 *мм*.

Заготовки для шечек выполняются из прессшпана или плотного картона. Ширина их не должна превышать соответствующие размеры пластин. В середине каждой заготовки нужно вычертить прямоугольник, стороны которого должны быть равны внешним размерам гильзы. По диагоналям прямоугольников нужно сделать сквозные прорезы, а образующиеся при этом внутри щечки «язычки» нужно



Фиг. 19. Каркас из жесткого материала.

отогнуть и, надев щечку на гильзу, хорошо приклеить их к ней. Если щечки не достаточно жестки, то следует наклеить на них еще один слой картона.

Готовый каркас должен быть достаточно жестким и не иметь перекосов. Готовый каркас следует тщательно просушить. Для повышения электрической прочности каркаса желательно пропитать его каким-либо изолирующим лаком и затем снова просушить.

Жесткие каркасы изготовляются из текстолита, гетинакса или хорошей фанеры, пропитанной лаком. Такой каркас состоит из двух щечек, двух вертикальных и двух горизонтальных пластин (фиг. 19). Щечки делаются прямоугольной формы. В центре щечек делаются прямоугольные отверстия, размеры сторон которых должны быть больше соответствующего размера сердечника на удвоенную толщину материала гильзы. Гильза состоит из четырех планок, имеющих фасонные вырезы. Размеры вырезов должны

быть такими, чтобы все части каркаса хорошо сочленялись между собой.

Сборка жесткого каркаса производится следующим образом. Сначала в вырез щечек вставляются более длинные пластины, которые плотно прижимаются к бокам щечек, затем вставляются короткие планки. Если места стыков планок недостаточно точно подогнаны, то их следует аккуратно опилить напильником. Собранный каркас не должен иметь перекосов и части его не должны шататься. Правильно изготовленный каркас такого типа не нуждается в склейке.

УКЛАДКА ОБМОТОК

Намотка на каркас производится в слой, причем она должна быть плотной, без выступающих витков. Через каждые несколько рядов обмотки нужно прокладывать два-три слоя папиросной бумаги. Это улучшит изоляцию и создаст условия для более ровной намотки. После каждой обмотки необходимо проложить несколько слоев кабельной бумаги, чтобы предотвратить возможность пробоя между обмотками.

Выводы обмоток должны быть расположены в наиболее удобных местах, хорошо укреплены нитками и изолированы. Длина выводов должна быть достаточной для включения обмотки непосредственно по схеме. В обмотках с толщиной провода 0,5 *мм* и более выводы могут делаться этим же проводом; в обмотках, где провод тоньше 0,5 *мм*, выводы желательно делать из гибкого, многожильного провода с шелковой или хлорвиниловой изоляцией. Места соединений выводимых проводов с проводами обмотки должны быть хорошо скручены, пропаяны и тщательно изолированы. Следует помнить, что большинство пробоев в трансформаторах происходит в местах соединения обмоточных проводов с проводами выводов, вследствие плохой изоляции.

Выводные концы необходимо маркировать, это значительно облегчит регулировку стабилизаторов. Маркировку можно производить путем наклейки на выводные провода бумажек с указанием номера обмотки и номера вывода. При наличии проводов с цветной изоляцией полезно выводы различных обмоток делать разноцветными.

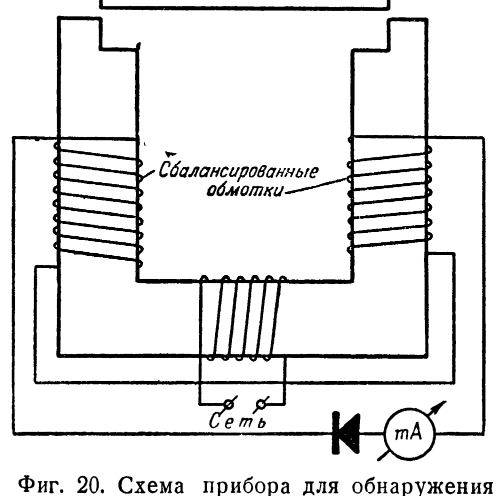
После намотки катушку полезно пропитать любым изолирующим лаком, для чего следует полностью погрузить

ее в жидкий лак и держать там в течение 20—30 мин. после окончания выделения пузырьков. Затем катушку тщательно просушивают. Пропитка предохраняет катушку от действия влаги и увеличивает механическую прочность обмоток.

ПРОВЕРКА ОБМОТОК

После изготовления катушек желательно установить отсутствие обрывов и короткозамкнутых витков в обмотках и проверить качество изоляции.

Отсутствие обрывов легко установить при помощи пробника. В качестве пробника можно использовать любой электроизмерительный прибор, подключаемый к обмотке последовательно с батарейкой, имеющей напряжение в несколько вольт. Отклонение стрелки такого прибора покажет наличие токопроводящей цепи, т. е. отсутствие обрывов.



Фиг. 20. Схема прибора для обнаружения короткозамкнутых витков.

Изоляция обмоток считается хорошей, если они не пробиваются при подведении напряжения, в три раза превосходящего то, на которое они были рассчитаны.

Отсутствие короткозамкнутых витков можно установить лишь при помощи специального прибора, представляющего собой П-образный сердечник, на средней части которого расположена катушка, питаемая от сети переменного тока и создающая в сердечнике магнитный поток (фиг. 20). На двух крайних стержнях расположены две совершенно одинаковые катушки, соединенные навстречу друг другу. Электродвижущие силы, возникающие в обмотках этих катушек, также направлены навстречу и уничтожают друг друга. Следовательно, тока в цепи катушек не будет.

Для определения наличия короткозамкнутых витков на один из стержней надевается испытуемая катушка. Если в катушке нет короткозамкнутых витков, то распределение э. д. с. в катушках прибора не нарушится и тока в цепи попрежнему не будет. Если же короткозамкнутые витки имеются, то в них потечет ток. Этот ток вызовет в одной из катушек прибора (в той, которая расположена на одном стержне с испытуемой катушкой) добавочную э. д. с., в результате чего прибор разбалансируется. Разность электродвижущих сил в катушках вызовет в цепи ток, который будет показателем наличия в испытуемой катушке короткозамкнутых витков. Индикатором тока может служить миллиамперметр, включенный последовательно с детектором.

Для увеличения чувствительности прибора после надевания испытуемой катушки верхние концы крайних стержней нужно замкнуть стальным стержнем.

ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫБОРА РАЗМЕРОВ СЕРДЕЧНИКА

Для проверки правильности выбора размеров сердечника следует подсчитать площадь, занимаемую обмотками в окне. Зная число витков в каждой обмотке и ширину каркаса, можно определить число витков в каждом слое, число слоев в каждой обмотке и высоту обмотки. Суммируя высоты всех обмоток, получим общую высоту обмотки.

Число витков в слое определяется по формуле:

$$n_в = \frac{0,9(y' - 2\delta)}{d_{из}},$$

где $n_в$ — число витков в одном слое;

y' — длина каркаса;

δ — ширина щечки.

Величины y' и δ показаны на фиг. 17.

Число витков в слое можно также определить при помощи табл. 4, помножив длину намотки на число витков, приходящихся на 1 *см* намотки. Неточность укладки учитывается коэффициентом 0,9.

Тогда $n_в = 0,9\ (y' - 2\delta)\, n$, где n—число витков на 1 *см*.

ТАБЛИЦА 4

Число витков, приходящихся на 1 *см* длины сплошной намотки

Диаметр по меди, *мм*	Номинальное число витков на 1 *см* длины сплошной намотки						
	ПЭН, ПЭЛ, ПЭ, ПЭГ	ПШО	ПШД	ПЭШО	ПБО	ПБД	ПЭБО
0,20	46,5	38,5	31,2	35,7	34,5	27,0	32,3
0,21	43,5	37,0	30,3	34,5	33,3	26,3	31,2
0,23	40,0	34,5	28,6	32,3	31,2	25,0	29,4
0,25	37,0	32,3	27,0	30,3	29,4	23,8	27,8
0,27	33,9	30,3	25,6	28,2	26,3	21,3	24,7
0,29	31,7	28,6	24,4	26,7	25,0	20,4	23,5
0,31	29,4	27,0	23,3	25,0	23,8	19,6	22,2
0,33	27,8	25,6	22,2	23,8	22,7	18,9	21,3
0,35	26,3	24,4	21,3	22,7	21,7	18,2	20,4
0,38	24,4	22,7	20,0	21,3	20,4	17,2	19,2
0,41	22,7	21,3	18,9	19,8	19,2	16,4	18,0
0,44	21,1	20,0	17,8	18,7	18,2	15,6	17,1
0,47	19,8	18,9	16,9	17,7	17,2	14,8	16,3
0,49	19,05	18,2	16,4	17,1	16,7	14,5	15,8
0,51	18,35	17,5	15,9	16,4	16,1	14,1	15,2
0,55	16,94	16,39	14,92	15,38	15,15	13,33	14,29
0,59	15,88	15,38	14,08	14,49	14,29	12,66	13,51
0,64	14,71	14,29	13,16	13,51	13,33	11,90	12,66
0,69	13,70	13,33	12,34	12,66	12,50	11,23	11,90
0,74	12,66	—	—	11,77	11,77	10,64	11,11
0,80	11,77	—	—	11,99	10,99	10,00	10,42
0,86	10,99	—	—	10,31	10,31	9,44	9,80
0,93	10,20	—	—	9,61	9,61	8,85	9,14
1,00	9,52	—	—	8,93	8,89	8,00	8,48
1,08	8,77	—	—	8,33	8,80	7,52	7,94
1,16	8,20	—	—	7,81	7,78	7,09	7,46
1,20	7,94	—	—	7,58	7,55	6,89	7,25
1,25	7,63	—	—	7,30	7,27	6,67	6,99
1,35	7,10	—	—	6,80	6,78	6,25	6,54
1,45	6,63	—	—	6,47	6,35	5,88	6,13
1,56	6,17	—	—	—	5,93	5,52	5,74
1,68	5,78	—	—	—	5,54	5,18	5,37
1,81	5,56	—	—	—	5,17	4,85	5,03
1,95	4,97	—	—	—	4,82	4,55	4,70
2,02	4,81	—	—	—	4,66	4,41	4,55
2,10	4,63	—	—	—	4,49	4,26	4,39
2,26	4,31	—	—	—	4,13	3,91	—
2,44	4,00	—	—	—	3,85	3,65	—
2,63	—	—	—	—	3,58	3,41	—

Число слоев N в каждой обмотке определяется по формуле

$$N = \frac{w_{обм}}{n_в},$$

где $w_{обм}$ — число витков в обмотке.

Толщина одной обмотки, например первой, определяется из выражения

$$c_1 = 1{,}2 N_1 d_{из} + к,$$

где коэффициент 1,2 учитывает изоляцию между слоями и место, занимаемое выводами, $к$ — толщина изоляции между обмотками.

Общая толщина всех обмоток определяется как сумма толщин отдельных обмоток.

$$c_{общ} = c_1 + c_2 + c_3$$

и должна быть немного меньше (на толщину стенки каркаса δ') соответствующего размера окна (фиг. 17). Если в окне должны поместиться две катушки на рядом лежащих сердечниках, то необходимо подсчитать и толщину намотки второй катушки и проверить, будет ли величина $z - \delta'$ меньше суммы обеих толщин $c_{ср} + c_{кр}$.

Если подсчитанная высота катушки окажется больше размера $z - \delta'$, то это значит, что обмотки в окне не уместятся. Тогда следует повторить расчет для следующего по величине размера сердечника.

Если окажется, что высота катушек значительно меньше высоты окна, то рекомендуется взять пластины меньших размеров.

Пример 4. Проверить правильность выбора размеров сердечника автотрансформатора стабилизатора по схеме фиг. 7.

При решении примера 1 получены следующие данные обмоток автотрансформатора (фиг. 11):

$w_1 = 195$ витков, $d_{1\,из} = 1{,}51$ *мм*;

$w_2 = 336$ витков, $d_{2\,из} = 1{,}31$ *мм*;

$w_{общ} = 897$ витков, $d_{3\,из} = 1{,}14$ *мм*;

следовательно, секция *а-б* имеет 195 витков, секция *б-в* 332—195= =137 витков и секция *в-г* 897—332 = 569 витков.

По табл. 3 выбираем пластины типа Ш-32 (изображенные на фиг. 15). Данные каркаса берем следующие:

$$\delta' = 2 \text{ мм}; \quad \delta = 1{,}5 \text{ мм}; \quad y' = y - 2\delta = 72 - 2 \cdot 1{,}5 = 69 \text{ мм};$$
$$z' = z - \delta' = 35 - 2 = 33 \text{ мм}.$$

Число витков первой обмотки, расположенных в одном слое,

$$n_1 = \frac{0{,}9y'}{d_{1\,из}} = \frac{0{,}9 \cdot 69}{1{,}51} = 41 \text{ виток}.$$

Число слоев в первой обмотке

$$N_1 = \frac{w_1}{n_1} = \frac{195}{41} = 4{,}65 \text{ слоев}.$$

При расчете принимаем $N_1 = 5$.

Толщина первой обмотки

$$c_1 = 1{,}2\, N_1 d_{1\,из} + \kappa = 1{,}2 \cdot 5 \cdot 1{,}51 + 0{,}5 = 10 \text{ мм}.$$

k — толщина изоляции между секциями — может быть такой же, как и между слоями, так как одна обмотка является продолжением другой и напряжения между близлежащими витками соседних обмоток невелики.

Количество витков в каждом слое, число слоев и толщины второй и третьей секции подсчитываются аналогично:

$$n_2 = \frac{0{,}9y'}{d_{2\,из}} = \frac{0{,}9 \cdot 69}{1{,}31} = 47{,}4 \text{ витка}.$$

Принимаем 47 витков:

$$N_2 = \frac{w_2}{n_2} = \frac{137}{47} = 2{,}9 \text{ слоя};$$

для расчета принимаем $N_2 = 3$.

$$c_2 = 1{,}2\, N_2 d_{2\,из} + \kappa = 1{,}2 \cdot 3 \cdot 1{,}3 + 0{,}5 = 5{,}2 \text{ мм}.$$

$$n_3 = \frac{0{,}9 \cdot 69}{1{,}14} = 54{,}5 \text{ витка}.$$

Принимаем 54 витка:

$$N_3 = \frac{569}{54} = 10{,}6 \text{ ряда}.$$

Принимаем для расчета $N_3 = 11$ рядов:

$$c_3 = 1{,}2 \cdot 11 \cdot 1{,}14 + 1{,}5 \text{ мм} = 16{,}5 \text{ мм},$$

где 1,5 *мм* — толщина поверхностной изоляции.

Общая высота намотки

$$c_{общ} = c_1 + c_2 + c_3 = 10 + 5{,}2 + 16{,}5 = 31{,}7 \text{ мм}.$$

Высота окна z' (33 *мм*) больше высоты намотки, следовательно тип сердечника выбран правильно.

Пример 5. Выбрать тип пластин и определить необходимую переделку его для изготовления стабилизатора по схемам фиг. 8 и 9.

При решении примера 2 были получены следующие данные обмоток:

$$w_1 = 445 \text{ витков}, \quad d_{1\,из} = 0{,}85;$$
$$w_2 = 635 \text{ витков}, \quad d_{2\,из} = 0{,}73;$$
$$w_c = 1\,700 \text{ витков}, \quad d_{c\,из} = 0{,}475;$$
$$w_к = 95 \text{ витков}, \quad d_{к\,из} = 0{,}68.$$

Выбираем по табл. 3 типовые пластины Ш-25. Ширина бокового керна должна быть меньше среднего в 0,6 раза, поэтому $b = 0{,}6 \cdot 25 = 15$ *мм*.

Подрезку бокового керна можно произвести как с внутренней, так и с внешней стороны (фиг. 16). В данном случае для увеличения ширины окна подрезаем внутреннюю сторону керна и доводим ширину окна до $b = 34{,}6$ *мм*.

Размеры окна, не занятые стенками каркаса:

$$y' = y - 2\delta = 58 - 2 \cdot 1{,}5 = 55 \text{ мм},$$
$$z' = z - 2\delta' = 34{,}6 - 2 \cdot 1{,}5 = 31{,}6 \text{ мм}.$$

Расчет толщин, занимаемых каждой из обмоток, аналогичен изложенному в предыдущем примере.

$$n_1 = \frac{0{,}9 \cdot 55}{0{,}85} = 58{,}3 \text{ витков; для расчета принимаем } n_1 = 58.$$

$$N_1 = \frac{445}{58} = 7{,}66 \text{ слоя. Для расчета принимаем } N_1 = 8 \text{ слоев.}$$

$$c_1 = 1{,}2 \cdot 8 \cdot 0{,}85 + 1{,}0 = 9{,}1 \text{ мм.}$$

$$n_к = \frac{0{,}9 \cdot 55}{0{,}68} = 73 \text{ витка.}$$

$$N_к = \frac{95}{73} = 1{,}3. \text{ Для расчета принимаем } N_к = 2 \text{ слоя.}$$

$$c_к = 1{,}2 \cdot 2 \cdot 0{,}68 + 1 \text{ мм} = 2{,}63 \text{ мм.}$$

Толщина обмоток катушек, расположенных на среднем керне:

$$c_{ср} = c_1 + c_к = 9{,}1 + 2{,}63 = 11{,}73 \text{ мм.}$$

$$n_2 = \frac{0{,}9 \cdot 55}{0{,}73} = 67{,}8 \text{ витков; для расчета принимаем } n_2 = 67 \text{ витков.}$$

$$N_2 = \frac{635}{67} = 9{,}5 \text{ слоев. Принимаем для расчета } N_2 = 10.$$

$$c_2 = 1{,}2 \cdot 10 \cdot 0{,}73 = 8{,}75 \text{ мм}; \quad n_c = \frac{0{,}9 \cdot 55}{0{,}475} = 104 \text{ витка;}$$

$$N_c = \frac{1\,700}{104} = 16{,}3 \text{ слоев. Принимаем } N_c = 17 \text{ слоев.}$$

$$c_c = 1{,}2 \cdot 17 \cdot 0{,}475 + 1{,}0 \text{ мм} = 10{,}8.$$

Толщина обмотки катушки, расположенной на крайнем стержне,

$$c_{кр} = c_2 + c_c = 8{,}75 + 10{,}8 = 19{,}5 \ мм.$$

Толщина обеих катушек меньше ширины окна ($z' = 31{,}6$ *мм*), следовательно, сердечник выбран правильно.

СБОРКА СТАБИЛИЗАТОРОВ

Сборка дросселей и трансформаторов с насыщенными сердечниками должна производиться вперекрышку, для максимального уменьшения воздушных зазоров. Стыки пластин одного слоя сердечника должны перекрываться пластинами следующего слоя (фиг. 21).

Для уменьшения зазоров ярмо во время сборки нужно сбивать деревянным молотком; если же таковой отсутствует, то можно и стальным, но чтобы не испортить пластин — через деревянную или текстолитовую прокладку. Сборку нужно проводить аккуратно, пластины вставлять ровно и без перекосов. Когда сборка подходит к концу, то последние пластины следует вставлять в середину пакета, а не около стенки каркаса, чтобы не прорезать каркас и не замкнуть витки нижнего слоя обмотки. Это особенно важно при «мягком» каркасе. Внешняя часть железа должна быть ровной, не иметь выступающих частей и зазоров. Зазоры в стыках должны быть минимальными.

Дроссели с ненасыщенными сердечниками и магнитные шунты, в отличие от трансформаторов и дросселей с насыщенными сердечниками, собираются впритык, чтобы по всему сечению сердечника образовался ровный зазор (фиг. 22). Для получения ровного зазора между основной частью дросселя и магнитным шунтом нужно проложить полоску картона толщиной 1,5—2 *мм.* Если при регулировке появится необходимость в уменьшении зазора, то этот картон следует заменить другим, более тонким, и сделать зазор равным толщине нового слоя картона.

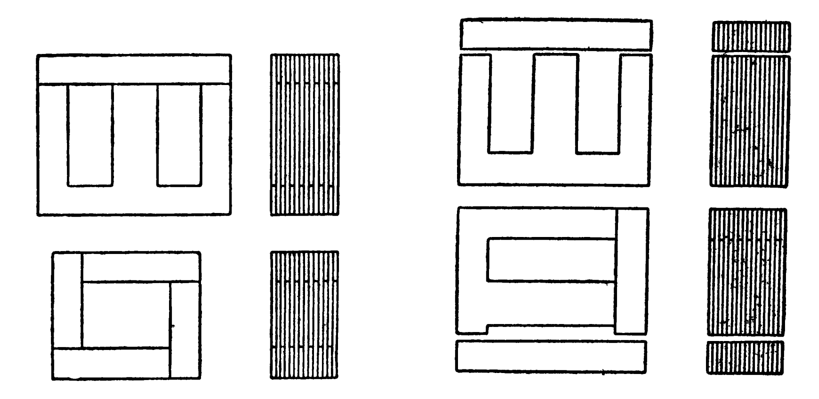
После сборки ярма сердечник стягивают при помощи шпилек диаметром 4—5 *мм* с резьбой на обеих концах и накладок, изготовленных из немагнитного металла (дюралюминий, латунь и т. д.) или дерева. Накладки должны быть достаточно жесткими, чтобы не прогибаться при стягивании.

Между сердечником и стягивающими накладками нужно проложить изолирующие прокладки (прессшпан, картон или несколько слоев плотной бумаги), вырезанные

по форме пластины сердечника. Шпильки также нужно обернуть двумя-тремя слоями бумаги.

Отверстия в накладках дросселя с ненасыщенным сердечником или магнитного шунта должны иметь овальную форму, потому что в процессе регулировки может потребоваться изменение величины зазора.

После стяжки пластин в образовавшееся между пакетом и стенкой каркаса свободное пространство следует



Фиг. 21. Сборка дросселя с насыщенным сердечником.

Фиг. 22. Сборка дросселя с ненасыщенным сердечником.

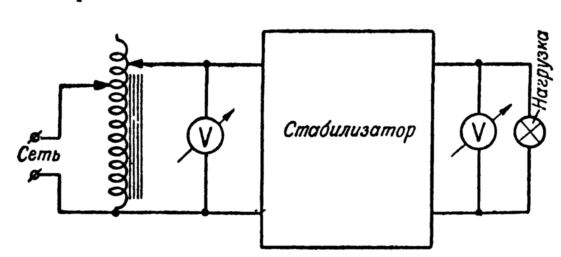
с обеих сторон забить деревянные клинья — они усилят стяжку сердечника и уничтожат гудение стабилизатора при работе. После сборки трансформаторов их полезно снова пропитать какой-либо изолирующей массой и тщательно просушить.

Сборка стабилизатора производится на горизонтальной панели. Если стабилизатор собран по схеме фиг. 7, то элементы его размещаются следующим образом. Посередине дроссель с ненасыщенным сердечником, с одной стороны конденсаторы, а с другой стороны автотрансформатор. При таком размещении нагрев конденсаторов от автотрансформатора уменьшается.

В стабилизаторе по схеме фиг. 8 и 9 конденсаторы следует размещать со стороны насыщенной части сердечника, чтобы оставить свободным место около магнитного шунта, что облегчит регулировку последнего.

РЕГУЛИРОВКА СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Правильно проведенный расчет и тщательная сборка еще не дают гарантии, что стабилизатор сразу будет хорошо работать, т. е. что его выходное напряжение будет нужной величины и будет мало изменяться при значительных отклонениях напряжения сети от номинала. Объясняется это тем, что при расчете нельзя учесть различное качество материала пластин и намотки, неточность сборки



Фиг. 23. Схема для регулировки стабилизаторов.

(различную величину зазора), разброс емкости конденсаторов и т. д., и даже при точном повторении конструкции хорошо работающего стабилизатора регулировка нового стабилизатора необходима.

Для регулировки стабилизаторов необходима следующая аппаратура.

Два вольтметра переменного тока на нужные пределы измерения (можно использовать и один вольтметр, периодически подключая его во входную и выходную цепи).

Устройство, дающее напряжение от 0 до величины, превышающей процентов на двадцать величину напряжения на выходе стабилизатора. Для этой цели можно использовать автотрансформатор и последовательно соединенный с ним реостат, рассчитанный на ток в несколько ампер. В качестве нагрузки удобнее всего применить электрические лампочки с нужным напряжением и с различной мощностью.

Схема, собранная для регулировки стабилизаторов, показана на фиг. 23.

Все катушки, имеющие по несколько отводов, сначала включаются средними отводами, остальные неиспользуемые отводы должны быть хорошо изолированы, во избежание коротких замыканий.

Если стабилизатор имеет стальной кожух, то регулировку нужно производить при надетом кожухе, а провода

для подключения нагрузки и сети вывести сквозь отверстия в кожухе. Напряжение стабилизатора, отрегулированного без кожуха, при надетом кожухе может несколько измениться. Если стабилизатор работает без кожуха, то не следует вблизи него располагать железные предметы, а если он предназначен для работы в какой-либо схеме, то нужно перед началом регулировки вмонтировать его в эту схему, чтобы расположение железных предметов вокруг него не менялось.

Если в процессе регулировки измерения производятся ферродинамическими вольтметрами, то необходимо отнести их на 2—3 *м* от стабилизатора, иначе внешнее магнитное поле стабилизатора будет влиять на их показания.

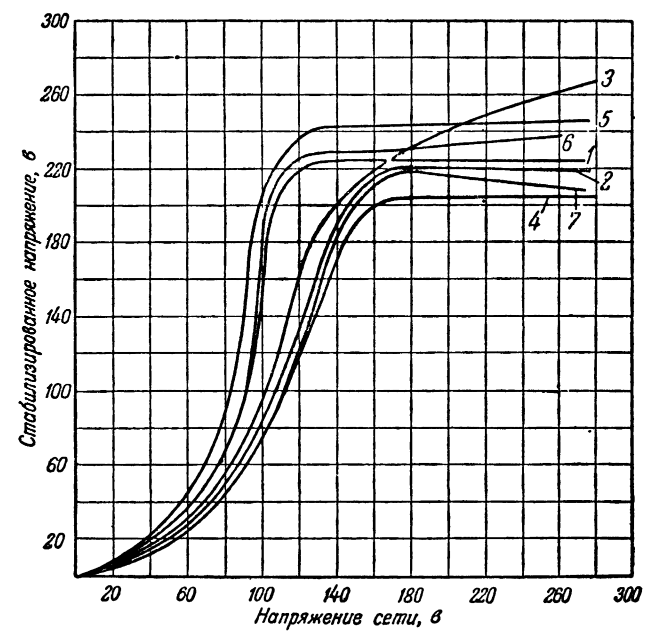
Регулировку стабилизатора следует производить в следующей последовательности.

Сначала нужно включить стабилизатор в схему без нагрузки и, плавно повышая от нуля подаваемое на вход стабилизатора напряжение, следить за показаниями входного и выходного вольтметров: показания входного вольтметра должны изменяться все время плавно, показания выходного вольтметра должны сначала возрастать медленно, затем быстрее и, наконец, скачком возрасти, почти до нужной величины, после чего дальнейшее изменение входного напряжения уже почти не должно влиять на величину стабилизированного напряжения (фиг. 24, кривая 1).

Показание входного вольтметра, при котором произошел скачок напряжения, указывает нижний предел сетевого напряжения, при котором стабилизатор будет нормально работать. Если скачка не произошло и напряжение на выходе стабилизатора все время меняется при изменении входного напряжения, значит схема собрана неверно или пробиты конденсаторы.

Затем включают номинальную нагрузку и, опять повышая напряжение, определяют значение напряжения на входе, при котором произойдет скачок выходного напряжения (фиг. 24, кривая 2). Теперь это значение будет несколько большим, чем при холостом ходе, но оно не должно превышать минимально возможное значение сетевого напряжения, иначе стабилизатор не сможет нормально работать при пониженном напряжении питающей сети. Если, например, номинальное напряжение сети 220 *в* и оно может падать иногда (в часы пик) до 180 *в*, то напряжение скачка не должно быть выше 175 *в*.

Если напряжение сети, при котором происходит скачок выходного напряжения, все же выше минимального значения, то нужно ослабить шпильки, стягивающие дроссель с насыщенным сердечником, и молотком сбивать железо до тех пор, пока зазоры не уменьшатся до минимума, после чего нужно затянуть шпильки и снова измерить напряже-



Фиг. 24. Кривые зависимости выходного напряжения от входного при различных регулировках стабилизатора.

ние скачка. Если оно все же выше минимального значения напряжения сети, то нужно уменьшить нагрузку стабилизатора.

После скачка выходное напряжение при значительных отклонениях сетевого напряжения от номинала должно изменяться мало; но если оно все же продолжает быстро увеличиваться (фиг. 24, кривая 3), то это значит, что э. д. с., наводимая в компенсационной обмотке, совпадает по направлению с э. д. с., наводимой в основной обмотке. Для устранения этого явления нужно поменять местами концы компенсационной обмотки.

Выходное напряжение после скачка может отличаться (иногда даже значительно) от того напряжения, на которое стабилизатор был рассчитан; оно может быть как меньше, так и больше необходимого (фиг. 24, кривые 4 и 5). В этом случае нужно подать на вход стабилизатора номинальное напряжение сети и затем переключить отводы вторичной обмотки. Так, если напряжение ниже нормального, нужно увеличить число витков во вторичной обмотке, а если выше — уменьшить.

На величину выходного напряжения можно влиять также путем изменения емкости включаемых конденсаторов. Увеличение емкости вызывает повышение выходного напряжения, а уменьшение емкости — понижение.

Значительно увеличивать емкость по сравнению с расчетной не следует, так как это может ухудшить коэффициент полезного действия стабилизатора, увеличит в нем потери и перегрев обмоток.

Выходное напряжение стабилизатора можно повысить в небольших пределах также увеличением числа пластин в насыщенном сердечнике.

При изменении напряжения на входе стабилизатора от минимального до максимально возможного значения выходное напряжение практически не должно изменяться (не более $\pm 1-2\%$ по отношению к номиналу). Если же отклонения выходного напряжения превышают допустимые, то нужно изменить зазор в дросселе с ненасыщенным сердечником или переключить отводы компенсационной обмотки. Так, если с уменьшением входного напряжения напряжение на выходе стабилизатора растет (фиг. 24, кривая 6), то нужно увеличить число включенных витков компенсационной обмотки или уменьшить зазор, а если при увеличении входного напряжения выходное напряжение падает (фиг. 24, кривая 7), то нужно уменьшить число включенных витков компенсационной обмотки или увеличить зазор в сердечнике.

Выходное напряжение правильно отрегулированного стабилизатора практически не будет меняться при изменении входного напряжения от минимального до максимального значения (фиг. 24, кривая 2).

Отрегулированный стабилизатор в процессе работы не требует никакого ухода.

Цена 1 р. 50 к.